Раздел III. Методологические вопросы и информационная среда сферы научных исследований

Попов Сергей Витальевич
кандидат технических наук,
зав. отделом проблем
научной политики и
развития науки РИЭПП.
(495) 916-14-79,
info@riep.ru

Сергеева Владлена Владимировна
научный сотрудник сектора
наукометрии и статистики науки
РИЭПП.
(495) 916-14-79,
info@riep.ru

ТРЕНДОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРСАЙТ – ОТ КОНКУРЕНЦИИ К СИНТЕЗУ

1. Анализ мирового опыта прогнозирования научно-технического развития

Проведенный анализ мирового (стран ЕС, Японии, Южной Кореи, Тайваня, США) опыта выявления долгосрочных проблем и вызовов в научно-технической сфере показал, что в форсайт-проектах, выполненных до 2005 года, большой популярностью пользовались методы экспертных оценок. Однако в последние годы исследователи научно-технического прогресса стали отмечать неоправданные перегибы первых форсайтов в сторону экспертных оценок и необходимость сочетания экспертных методов с традиционным научно-техническим прогнозированием.

На принципах взаимодополнения трендовых и экспертных методов разрабатывается большинство современных форсайтов. При этом качественные методы нацелены на «творческий подход», а количественные на «доказательность».

До 1980-х годов прошлого века прогнозирование научно-технического развития в основном основывалось на экстраполяции тенденций, когда при помощи построения временных рядов неких количественных характеристик вычислялись их прогнозные значения. На основе значений прогнозных характеристик можно было судить о возможных изменениях в состоянии интересующей нас области. Ученые развивали все более изощренные методы математической статистики, вычисляли возможные ошибки прогнозов, задавали доверительные интервалы, разрабатывали новые меры корреляции, забывая о том, что имеют дело с «живой жизнью», а не со стабильной системой.

Действительно, последние десятилетия «живая жизнь» стала развиваться столь стремительно, что у многих возникло предположение, что цена всех математических прогнозов близка к нулю, если, строя их, мы просто не знали о возникновении или перестройке некой области, кардинально меняющей возможный набор альтернативных действий и их оценку.

В связи с этим в индустриально развитых странах стали развиваться более «мягкие» методы научно-технического прогнозирования, основанные на широком использовании экспертных оценок. Несмотря на многообразие новых методов, основными терминами, определяющими их, стали «форсайт» и «технологические дорожные карты». При этом построение технологических дорожных карт часто считают одной из разновидностей форсайта.

Одним из мировых лидеров в области научно-технологического форсайта стала Япония. Ниже приведены пять основных требований к работе системы прогнозирования японского типа [1].

- Прогнозы должны рассматривать не только ситуацию в науке и технике, но и социально-экономические потребности и динамику возможных рынков.
- Прогнозы не должны быть «близорукими», ограничиваясь рамками определенной области. Они должны покрывать все области науки и техники.
- Необходимо оценивать и ранжировать относительную важность направлений исследований и разработок.
- Прогнозы должны быть исследовательскими (включать предвидение экспертами будущих сдвигов) и нормативными (определять цели и время их достижения).
- Главный акцент следует делать скорее на выявлении трендов, чем на предсказании будущих событий.

Последнему требованию следует уделить особое внимание. По нашему мнению, оно вызвано желанием избежать неоправданных перегибов первых форсайтов в сторону экспертных оценок и необходимостью сочетать новые методы с традиционным научно-техническим прогнозированием.

Современная тенденция разработки зарубежных форсайтов, при создании которых использовались бы как качественные, так и традиционные количественные методы, представлена Центром технологического форсайта Института научно-технического развития и планирования (Южная Корея) в докладе «Технологические дорожные карты как инструмент форсайта» [2]. Анализ проводился на основе исследования методов, использованных при разработке 150 научно-технических форсайтов, выполненных до 2005 года в различных странах мира. По частоте использования методы распределились следующим образом.

1. Методы с высокой частотой использования (были использованы в 50–25 % форсайт-проектов):

– обзоры литературы,
– сценарии,

– метод мозгового штурма,
– экспертные панели,
– семинары.

2. Методы со средней частотой использования (были использованы в 24–10 % форсайт-проектов):

– метод Дельфи,
– метод критических технологий,
– SWOT анализ,
– сканирование среды,
– тренды.

3. Методы с малой частотой использования (были использованы в 9–1 % форсайт-проектов):

– технологические дорожные карты,
– картирование заинтересованных кругов,
– опросы населения,
– имитационное моделирование,
– ретрополяция,
– эссе,
– деловые игры,
– анализ взаимовлияния факторов,
– анализ мегатрендов,
– многофакторный анализ,
– методы библиометрии.

Приведенные выше данные красноречиво свидетельствуют о большей популярности в форсайт-проектах, выполненных до 2005 года, «мягких» методов форсайта по сравнению с традиционными количественными методами.

Однако приведенный далее в докладе перечень потенциальных методов для будущих исследований прогнозирует паритет количественных методов (16 методов) и качественных методов (17 методов) разработки форсайтов. При этом качественные методы нацелены на «Творческий подход», а количественные на «Доказательность» при разработке форсайтов. В равной степени эти две группы методов нацелены на поддержку «Экспертизы» и «Взаимодействия».

Ярким примером воплощения современных тенденций в области прогнозирования развития, на наш взгляд, является «Международная технологическая карта полупроводниковой промышленности» (The International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS), при составлении которой сочетаются «трендовый» и экспертный подходы.

ITRS – документ, не только прогнозирующий главные тенденции развития полупроводниковой промышленности в целом на 15 лет вперед, но и поднимающий планку требований, ставящий задачи, которые необходимо решить производителям, чтобы в будущем не оказаться в неудачниках. Ассоциация полупроводниковой промышленности (The Semiconductor Industry Association, SIA) США поначалу координировала усилия по созданию только национальной технологической дорожной карты для полупроводников. Однако в связи с тем, что полупроводниковая про-

мышленность приобрела глобальный всемирный характер, на Мировом Полупроводниковом Совете в апреле 1998 г. было поддержано предложение, совместно с представителями Европы, Японии, Кореи и Тайваня, составлять и регулярно обновлять международную карту – ITRS. Участие многочисленных экспертов из Европы, Японии, Кореи, Тайваня, США при финансировании этими странами проекта гарантирует, что ITRS представляет собой результат согласования позиций в общемировом масштабе и имеет силу как руководство для полупроводниковой промышленности с целью расширения рынков полупроводниковых технологий и интегральных схем. С тех пор полные пересмотры ITRS были произведены в 1999, 2001, 2003 и 2005 гг., а модернизации документа были произведены в 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008 гг. Документ содержит материалы, касающиеся как среднесрочных, так и долгосрочных прогнозов. Рассматриваются ожидаемые характеристики технологий, изделий, производства (рентабельность), вызовы и проблемы, которые необходимо преодолевать по всем группам изделий, а также вопросы тестов и испытательного оборудования, измерения, моделирования, сборки, упаковки, экологии и безопасности (в том числе для здоровья). Следует при этом отметить, что, несмотря на наименование, документ не содержит сложных изобразительных решений, информация представлена в текстовом, табличном виде и в виде графиков и условных схем.

Основные разработчики дорожной карты 2008 года разделены на 16 технологических рабочих групп, включающих от 10 до 250 человек:

1. Группа координации деятельности рабочих групп
2. Группа конструирования
3. Группа тестирования
4. Группа интегрирования систем и процессов
5. Группа технологий беспроводной связи
6. Группа перспективных исследований в области полупроводниковых приборов
7. Группа перспективных исследований в области полупроводниковых материалов
8. Группа входных процессов
9. Группа технологий литографии
10. Группа проводной связи
11. Группа заводского производства
12. Группа сборки
13. Группа безопасности, защиты окружающей среды и здоровья
14. Группа увеличения выпуска качественной продукции
15. Группа метрологии
16. Группа имитационного моделирования

Исследование развития полупроводниковой промышленности проводилось на основании анализа динамики следующих групп показателей:

1. Показатели уровня интеграции (например, рост емкости микросхем (закон Мура)).
2. Ценовые показатели (например, снижение цены за одну выполняемую функцию).

3. Показатели скорости (например, рост производительности микропроцессоров).
4. Энергетические показатели (например, увеличение срока работы аккумуляторов и батарей для сотовых телефонов и ноутбуков).
5. Показатели компактности (например, миниатюризация продукции).
6. Показатели функциональности (например, увеличение энергонезависимости запоминающих устройств).

Проект начался в 1992 году и продолжается в настоящее время. Построенные в предыдущие годы в рамках данного проекта технологические дорожные карты прогнозировали дальнейшее снижение цены на одну выполняемую функцию (25–29 % в год) и дальнейший рост рынка интегральных микросхем (в среднем 17 % в год, с тенденцией снижения в последние годы). Прогнозировалось продолжение действия закона Мура, т. е. удвоение емкости микросхем в течение каждых двух лет. Сегодня основной целью проекта является ответ на вопрос: «Что необходимо сделать для того, чтобы закон Мура и другие позитивные тенденции сохранились в будущем?»

С другой стороны, в 2008 году в рамках проекта возникла концепция под названием «Больше, чем Мур», делающая акцент на развитии новых полупроводниковых приборов с большей функциональной диверсификацией. Еще одной отличительной особенностью технологической дорожной карты 2008 года явилось то, что при ее разработке особое внимание было уделено проблемам энергетики и защиты окружающей среды. При этом рассматривались два направления: интеллектуализация производства энергии и энергосбережение при производстве полупроводниковых приборов.

Далее приводятся краткие выводы перечисленных выше рабочих групп по результатам построения технологической дорожной карты полупроводниковой промышленности 2008 года.

Группа конструирования

1. Программное обеспечение становится неотъемлемой частью конструирования полупроводниковых продуктов.
2. Уровень разработки программного обеспечения становится ключевым для повышения производительности конструирования полупроводниковых продуктов.

Группа тестирования

1. Низкое качество микропроцессорных приборов и приборов на интегральных схемах специального назначения в настоящее время приводит к низкому качеству работы основных блоков управления и контроля.
2. Сегмент тестирования должен эволюционировать от традиционных CMOS приборов к приборам с функциональной диверсификацией («Больше, чем Мур»).

Группа интегрирования систем и процессов

1. Эффективность работы нетрадиционных полупроводниковых приборов зависит от того, насколько значительно они позво-

лят раздвинуть рамки ограничений традиционных CMOS приборов.

2. Нетрадиционные полупроводниковые приборы должны быть интегрированы в традиционную CMOS платформу.
3. Решение последней задачи может оказаться достаточно трудным.

Группа технологий беспроводной связи

1. Новые технологии беспроводной связи обеспечивают быстрый рост рынка связи и являются важными и критическими технологиями, определяющими успех производителей полупроводниковой продукции.
2. Сегмент массового потребления общего рынка беспроводной связи очень чувствителен к ее цене.

Группы перспективных исследований в области полупроводниковых приборов и материалов провели в 2008 году ряд совместных научных семинаров под девизом «За пределами CMOS». В результате:

1. В качестве основного перспективного направления исследований выбрана углеродная наноэлектроника.
2. В рамках ITRS 2009 года будет подготовлена подробная технологическая дорожная карта по этому направлению.

Группа входных процессов

1. Учитывая современное состояние энергетики и нарастание экологических проблем, внимание исследователей и разработчиков должно быть сосредоточено не только на увеличении скорости и емкости микросхем, но и на уменьшении потребления энергии и производственных отходов.
2. Группа будет продолжать работы по определению процессов и оборудования, минимизирующих потребление энергии.

Группа технологий литографии определяет следующие совокупности вызовов в этой области:

1. Производство постоптических масок
2. Управление затратами и окупаемость инвестиций
3. Управление технологическими процессами
4. Литография с погружением в жидкость
5. EUV литография
6. Нанесение сдвоенных бороздок в полупроводниковых слоях
7. Метрология и обнаружение дефектов

Группа проводной связи

1. Основным вызовом в этой области по-прежнему является проблема задержек в проводных соединениях.
2. Требуется быстрое внедрение новых материалов и процессов для снижения диэлектрической проницаемости и задержек в проводных соединениях.

Группа заводского производства определяет следующие долгосрочные вызовы в своей области:

1. Необходимость сочетания гибкости, долгосрочности и расширяемости производства для достижения желаемого соотношения «цена-качество».

2. Сложности с внедрением в производство нового поколения литографического оборудования.
3. Нарастание глобальных ограничений, связанных с защитой окружающей среды.
4. Неопределенность, связанная с реализацией концепции «Больше, чем Мур», необходимость реализовывать новые процессы и традиционные CMOS процессы на одном и том же заводе.
5. Необходимость изменения производственной парадигмы в связи со следующим изменением размеров плат.

Группа сборки собирается в рамках ITRS 2009 года провести детальное рассмотрение необходимых изменений в области материалов, процессов и конструирования в ответ на вызовы наступающей эры «Больше, чем Мур».

Группа безопасности, защиты окружающей среды и здоровья в 2008 году была сосредоточена на исследовании динамики потребления воды и энергии в отрасли в связи с ее инновационным развитием. Несмотря на то что в последние годы потребление этих ресурсов сокращалось, в ближайшие годы ожидается рост потребления в связи с переходным периодом внедрения новых технологий.

Группа увеличения выпуска качественной продукции определяет следующие вызовы для своей области:

1. Необходимо определить контрольные параметры чистоты для газов, химических веществ, воздуха, сверхчистой воды и чистоты поверхности подложек.
2. Необходимо интенсивно развивать методы мониторинга и контроля бракованной продукции.
3. Необходим новый подход в методологии, диагностике и контроле невидимых дефектов и дефектов малого размера, альтернативный оптическим системам и рентгеноспектроскопии.

Группа метрологии в течение 2008 года сконцентрировала усилия на корректировке метрологии литографических технологий: новые технологии литографии бросили вызов всему метрологическому сообществу, эти технологии требуют гораздо более строгого метрологического контроля, чем традиционная литография.

Группа имитационного моделирования в 2008 году провела оценку сроков и затрат на разработку новых технологий, описанных другими рабочими группами, на основании опросов участников ITRS из разных стран, осуществленных 130-ю интервьюерами.

2. Российский опыт прогнозирования научно-технического развития

Россия пропустила массовый старт проектов форсайта в десятках стран мира в конце XX века, и нам еще только предстоит осваивать опыт этих проектов, проведенных во многих странах в последние десятилетия. Международный консорциум экспертных организаций ЕС по мони-

торингу форсайта опубликовал в 2006 году результаты исследования, в рамках которого проведен анализ более *400 проектов форсайта* в странах ЕС и других странах [3].

Особенно остро проблема использования новых методов научно-технического прогнозирования встала при формировании приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации.

Первые российские форсайты, связанные с этой темой, делали основной упор на экспертных оценках. Как указывалось выше, такой акцент был характерен и для первых зарубежных форсайтов. В настоящее время предлагается использовать более эффективную методику – сочетание «трендовых» и экспертных подходов.

В Постановлении от 22 апреля 2009 г. № 340 «Об утверждении Правил формирования, корректировки и реализации приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» [4] говорится, что: формирование и корректировка приоритетных направлений и перечня критических технологий осуществляются в следующие 2 этапа:

I этап – подготовка долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации и других материалов по комплексному анализу тенденций научно-технического и технологического развития Российской Федерации и зарубежных стран;

II этап – подготовка предложений по формированию и корректировке приоритетных направлений и перечня критических технологий на основе экспертизы соответствующих предложений.

Первый этап включает:

а) проведение анализа тенденций мирового научно-технического и технологического развития и оценки конкурентоспособности Российской Федерации на мировом рынке;

б) выявление первоочередных потребностей страны в научных и технических достижениях исходя из стратегических целей социально-экономического и оборонного строительства, наличия природных, финансовых, материальных и кадровых ресурсов, а также научно-технического и технологического потенциала;

в) проведение анализа научных исследований, отражающих публикационную деятельность, коэффициент цитируемости российских ученых, а также анализа патентных документов;

г) определение основных секторов экономики, в которых Российской Федерации необходимо обеспечить мировое лидерство, а также технологий, обеспечивающих решение задач национальной обороноспособности и безопасности;

д) проведение анализа социальных, технологических, экономических, экологических и политических аспектов развития национальной инновационной системы;

е) использование в случае необходимости других методов оценки тенденций научно-технического и технологического развития Российской Федерации и зарубежных стран.

Второй этап, в частности, включает:

– подготовку предложений по формированию и корректировке приоритетных направлений и перечня критических технологий;

– формирование экспертных групп с целью проведения экспертизы подготовленных предложений;

– подготовку экспертных заключений;

– формирование приоритетных направлений и перечня критических технологий.

В состав экспертных групп включаются ученые и специалисты научных организаций, высших учебных заведений, экспертных советов Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации, руководители проектов, реализуемых в рамках федеральных и ведомственных целевых программ, представители промышленных предприятий, бизнес-сообщества, фондов поддержки научной и (или) научно-технической деятельности и других организаций.

Литература и источники

1. Карта технологических дорог России: проблемы выбора приоритетов и критических технологий. Вып. 4. М.: Изд-во РУДН, 2005. С. 51.
2. The 3-rd NISTEP International Conference on Foresight. Byeongwon Park. Nov. 19–20, 2007.
3. *Семенов Е. В.* Форсайт как явление культуры // Наука. Инновации. Образование. Вып. 5. М.: Языки славянской культуры, 2008. С. 131.
4. Постановление от 22 апреля 2009 г. № 340 «Об утверждении Правил формирования, корректировки и реализации приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».